

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 13 969 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**H 01 L 21/285**  
H 01 L 33/00

②1 Aktenzeichen: P 41 13 969.0  
②2 Anmeldetag: 29. 4. 91  
④3 Offenlegungstag: 5. 11. 92

DE 41 13 969 A 1

⑦1 Anmelder:  
Telefunken electronic GmbH, 7100 Heilbronn, DE

⑦2 Erfinder:  
Gerner, Jochen, Dipl.-Phys., 6908 Wiesloch, DE;  
Schaerer, Werner, Dr., 7102 Weinsberg, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:  
KAMADA, M.;  
i.a.: OHMIC CONTACTS ON SELECTIVELY DOPED  
AlInAs/GaInAs HETEROSTRUCTURES USING Ni,  
AuGe AND Au. In: Solid-State Electronics, Vol.30,  
No.12, 1987, S.1345-1349;  
KULKARNI, A.K.;  
LUKOWSKI, J.T.: Effect of annealing process  
parameters on the properties of AuGe  
ohmic contacts to GaAs. In: J.Appl. Phys. 59, (8), 15.  
April 1986, S.2901-2904;

PATRICK, W.: Low-temperature annealed contacts  
to very thin GaAs epilayers. In: Appl.Phys. Letters 48,  
(15), 14. April 1986, S.986-988;  
KIM, Taeil;  
CHUNG, D.D.L.: The effects of  
germanium concentration on the compound  
formation and morphology of gold-based contacts  
to gallium arsenide. In: J.Vac.Sci.Technol. B4,(3),  
May/Jun. 1986, S.762-768;  
JP 54-39573 A., In: Patents Abstracts of Japan, E-113,  
May 26, 1979, Vol.3/No.61;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung von ohmschen Kontakten für Verbindungshalbleiter

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von  
ohmschen Kontakten auf einer N-dotierten Halbleiterschicht  
eines III-V-Verbindungshalbleiters.  
Auf einem N-Typ III-V-Verbindungshalbleiter wird eine Au-  
Ge-Schicht gebildet, wobei die Dicke der AuGe-Schicht  
zwischen 5 und 50 nm liegt und die Germaniumkonzentration  
weniger als 1 Gewichts-% beträgt. Auf die AuGe-Schicht  
wird eine Au-Schicht aufgebracht, deren Dicke zwischen 200  
nm und 600 nm liegt. Diese Schichtenfolge wird nun  
entweder bei einer Temperatur von ca. 360-390°C für eine  
Zeit zwischen 40 und 180 Minuten getempert oder durch ein  
Rapid-Thermal-Annealing bei einer Temperatur zwischen  
430°C und 480°C für eine Zeit von 5-20 Sekunden ausgeheilt.  
Der erfindungsgemäß hergestellte Metall-Halbleiterkontakt  
ist frei von Inhomogenitäten und weist überwiegend ebene  
Grenzflächen auf. Wegen des niedrigen ohmschen Kontakt-  
widerstands und des hohen Reflexionsvermögens für Strah-  
lung im nahen infraroten und sichtbaren Wellenlängenbe-  
reich eignet sich der Kontakt insbesondere als ganzflächiger  
Rückseiten-Kontakt für Halbleiterlumineszenzdioden, die in-  
frarotes oder sichtbares Licht emittieren.

DE 41 13 969 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von ohmschen Kontakten auf einer N-dotierten Halbleiterschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters.

N-Typ-Verbindungshalbleiterkristalle, insbesondere GaAs, AlGaAs und GaP, werden in großem Umfang als Substratmaterial für Halbleiter-Lumineszenzdioden verwendet, die sichtbares Licht oder Licht im nahen Infrarot emittieren. Das aktive, lichterzeugende Gebiet der Dioden wird auf dem Substratmaterial hergestellt. Die Substratrückseite wird normalerweise mit einem ohmschen Kontakt versehen. Die meisten bekannten ohmschen Kontakte für N-Typ III-V-Verbindungshalbleiterkristalle werden mit Hilfe eines sogenannten Legierprozesses hergestellt. Der für das Legieren charakteristische Vorgang ist das Aufschmelzen eines Metallfilms auf der Halbleiteroberfläche. Der Metallfilm besteht bei Kontakten auf N-Gebiet III-V-Verbindungshalbleiter im allgemeinen aus einer eutektischen AuGe- oder AuGeNi-Legierung. Gemäß einer heute allgemein akzeptierten Erklärung für das ohmsche Verhalten der legierten Kontakte wird während des Legiervorgangs ein Teil des III-V-Verbindungshalbleiterkristalls in der Metallschmelze gelöst, um dann während des Abkühlens auszukristallisieren und epitaktisch auf dem III-V-Verbindungshalbleiterkristall wieder aufzuwachsen. In der auf diese Weise neu entstehenden Schicht ist genügend Germanium enthalten, um den III-V-Verbindungshalbleiterkristall so hoch N-Typ zu dotieren, daß an der Potentialschwelle zwischen Kontaktmetall und Halbleiterkristall die Feldemission dominiert. Um das gute ohmsche Verhalten der Kontakte zu erreichen, das bei legierten AuGe- und AuGeNi-Kontakten beobachtet wird, ist eine Dotierungs-Konzentration von mindestens  $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  erforderlich. Ein typischer Nachteil der legierten Kontakte ist deren Inhomogenität sowohl in der lateralen als auch in der vertikalen Richtung bezüglich der Halbleiteroberfläche. Durch den Legierungsprozeß entsteht im allgemeinen eine rauhe, inhomogene Grenzfläche, die von einer Vielzahl verschieden großer, Germanium enthaltender, tröpfchenförmiger oder mikrokristalliner Erhebungen gebildet wird.

Abhängig von der Größe der Energielücke zwischen Leitungs- und Valenzband des Substratmaterials und von der Energie der Strahlung, die die Halbleiter-Lumineszenzdioden erzeugt, ist das Substratmaterial zumindest teilweise transparent für die erzeugte Strahlung. Die hoch Germanium-dotierten Bereiche jedoch, die durch das Legieren des AuGe- oder AuGeNi-Kontakts auf der Rückseite des Substratmaterials entstehen, absorbieren das auf sie auffallende Licht und verursachen so erhebliche Absorptionsverluste. Sowohl die Qualität als auch die Reproduzierbarkeit eines legierten Kontaktes bleibt häufig unbefriedigend. Das gilt insbesondere hinsichtlich der elektrischen und optischen Eigenschaften und der Morphologie der legierten Kontakte.

Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Herstellung von ohmschen Kontakten auf einer N-dotierten Halbleiterschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters anzugeben, wobei die Kontakte einen niedrigen Kontaktwiderstand und ein hohes Reflexionsvermögen für Strahlung im sichtbaren Spektralbereich und im nahen Infrarot besitzen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Da das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines ohmschen Kontakts anstatt des Legierprozesses einen Temperprozeß oder alternativ einen Ausheilprozeß durch Rapid-Thermal-Annealing enthält, kommt es während der Herstellung des Kontaktes nicht zum Verflüssigen und Rekristallisieren des AuGe- bzw. AuGeNi-Films. Die so hergestellten Kontakte sind daher frei von den Inhomogenitäten, die beim Legierprozeß entstehen und haben zudem überwiegend ebene Grenzflächen zwischen Metallisierung und Verbindungshalbleiterkristall. Durch die Verwendung des erfindungsgemäßen, reflektierenden ohmschen Rückseitenkontakts bei Halbleiterlumineszenzdioden läßt sich die Kontaktabsorption reduzieren und eine Verbesserung des optischen Wirkungsgrads erreichen.

#### Kurze Beschreibung der Abbildungen

Fig. 1 zeigt ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch die Schichtenfolge des Kontakts vor der Temperaturbehandlung.

Die Fig. 3a bis 3d zeigen die Prozeßschritte zur Herstellung eines erfindungsgemäßen ohmschen Kontakts.

Das Diagramm von Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit des spezifischen Kontaktwiderstands eines erfindungsgemäßen Kontakts von der Substratdotierung für verschiedene Temperprozesse.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch eine Halbleiterlumineszenzdioden mit einem erfindungsgemäßen Rückseitenkontakt.

Das Diagramm von Fig. 6 zeigt die Abhängigkeit des Reflexionsvermögens von der Wellenlänge für GaAs und zwei verschiedene Kontaktmetalle.

Das Diagramm der Fig. 7 zeigt die Abhängigkeit der optischen Ausgangsleistung einer Infrarotdioden von der Germaniumkonzentration des erfindungsgemäßen Rückseitenkontakts für zwei verschiedene Temperbedingungen.

Die Fig. 1 zeigt ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens, zur Herstellung von reflektierenden, ohmschen Kontakten auf einer N-dotierten Halbleiterschicht eines III-V-Verbindungshalbleiters.

Das Verfahren umfaßt je einen Schritt zur Herstellung einer ersten und einer zweiten Metallschicht auf der Rückseite eines N-Typ III-V-Verbindungshalbleiterkristalls und einem Temper- bzw. Ausheilschritt, um den ohmschen Kontakt zu erzeugen. Im ersten Schritt des Verfahrens wird die AuGe-Schicht 2 durch thermische Verdampfung aus einer AuGe-Quelle, die durch einen Elektronenstrahl beheizt wird, auf dem III-V-Verbindungshalbleiterkristall 1 gebildet (Fig. 3b). Im zweiten Schritt des Verfahrens wird die Au-Schicht 3 anhand der gleichen Methode auf der AuGe-Schicht 2 gebildet (Fig. 3c). Das Aufdampfen erfolgt bei einem Druck von ca.  $2 \cdot 10^{-7}$  mbar. Die Beschleunigungsspannung des Elektronenstrahls beträgt 10 kV. Fig. 2 zeigt die Schichtenfolge des ohmschen Kontakts vor der Temperaturbehandlung. Der Metall-Halbleiterkontakt besteht aus zwei Schichten, einer AuGe-Schicht 2 und einer Au-Schicht 3. Die AuGe-Schicht 2 befindet sich direkt auf dem N-Typ III-V-Verbindungshalbleiterkristall 1 und hat eine Dicke zwischen 5 und 50 nm. Die Germaniumkonzentration in der AuGe-Schicht 2 beträgt typisch 0,5 Gewichts-% und sollte 1 Gewichts-% nicht übersteigen, um das Reflexionsvermögen der Kontaktschicht nicht zu beeinträchtigen. Auf der AuGe-Schicht 2 befindet sich die Au-Schicht 3 mit einer Dicke

zwischen 200 und 600 nm.

Bei dem sich nun anschließenden Tempersschritt werden die in den vorangegangenen Prozessschritten gebildeten AuGe- und Au-Schichten 2, 3 bei einer Temperatur zwischen 360 und 390°C getempert, um eine homogene Kontaktschicht 4 zu erzeugen. Die Tempezeit beträgt zwischen 40 Minuten und 3 Stunden. Die Temperung wird in einer inerten Atmosphäre von z. B. N<sub>2</sub> oder Ar-Gas durchgeführt. Der Temperprozeß kann jedoch auch in einer reduzierenden Atmosphäre durchgeführt werden.

Während des Temperprozesses wird die reflektierende, ohmsche Kontaktschicht 4 gebildet. Durch die Festlegung von Tempezeit und Tempertemperatur werden die Eigenschaften des Metall-Halbleiterkontakts bestimmt. Ein hohes Reflexionsvermögen wird durch eine kurze Tempezeit und eine niedrige Tempertemperatur erreicht. Ein niedriger Kontaktwiderstand wird dagegen durch eine lange Tempezeit und eine hohe Tempertemperatur erzielt. Es wird daher im Einzelfall von den geforderten Eigenschaften der Lumineszenzdiode abhängen, wie die Parameter des Temperprozesses festzulegen sind.

Alternativ zum Tempersschritt ist ein Kurzzeit-Ausheilschritt durchführbar, der in einem Rapid-Thermal-Annealing-Gerät durchgeführt wird. In diesem Fall liegt die Ausheiltemperatur zwischen 430 und 480°C bei einer Zeitdauer von 5–20 Sekunden. Der Ausheilprozeß findet in der inerten Atmosphäre eines inaktiven Gases wie z. B. N<sub>2</sub> oder Ar statt. Der ohmsche Kontakt entsteht durch Diffusion der Germaniumatome aus der AuGe-Schicht 2 in die Oberfläche des N-Typ III-V-Verbindungshalbleiters 1. Beispiele für N-Typ III-V-Verbindungshalbleiter auf denen ein ohmscher Kontakt durch das erfindungsgemäße Verfahren herstellbar ist, sind z. B. GaAs, AlGaAs, GaP, InP und verwandte Halbleiterkristalle.

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit des spezifischen Kontaktwiderstands von der Ladungsträgerkonzentration im Substrat. Substratmaterial ist in diesem Beispiel 100-n-GaAs. Der Metallhalbleiterkontakt besteht aus einer 10 nm dicken AuGe-Schicht mit 0,5 Gewichts-% Germanium und einer 240 nm dicken Au-Schicht. Nach erfolgtem Temperprozeß enthält die getemperte Metallschicht Germanium in einer mittleren Konzentration von 0,02 Gewichts-%. Durch einen zwei Stunden dauernden Temperprozeß bei 380°C wird ein spezifischer Kontaktwiderstand von  $1 \cdot 10^{-5} \Omega \text{ cm}^2$  bei einer Substratdotierung von  $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  erreicht. Ein ganzflächiger Rückseitenkontakt mit einem in dieser Größenordnung liegenden Kontaktwiderstand hat keinen signifikanten Einfluß mehr auf die elektrische Flußspannung einer normalen Halbleiterlumineszenzdiode.

Fig. 5 zeigt einen Querschnitt durch eine Halbleiterlumineszenzdiode mit einem Rückseitenkontakt 4 nach der Erfindung. Es handelt sich um eine GaAs-Mesa-Diode für den infraroten Spektralbereich. Mögliche Lichtwege sind symbolisch durch Pfeile dargestellt. Das Infrarotlicht entsteht in der durch den pn-Übergang 9 definierten Ebene. Ein Teil des Lichts verläßt die Lumineszenzdiode auf dem direkten Weg über die freien Bereiche der Chip-Oberfläche. Ein anderer Teil des Lichts trifft jedoch auf den Rückseitenkontakt 4. Ein legierter AuGe- oder AuGeNi-Kontakt absorbiert den größten Teil der Strahlung im Germanium-dotierten Gebiet an der Rückseitenoberfläche. Bei einem Rückseitenkontakt, der gemäß der Erfindung hergestellt wurde, wird jedoch der größte Teil der Strahlung von

der Substrat-Kontaktgrenzfläche reflektiert und kann somit an der Chip-Oberfläche austreten. Dadurch wird eine Verbesserung der optischen Ausgangsleistung erzielt.

Fig. 6 zeigt die Abhängigkeit des Reflexionsvermögens von der Wellenlänge für GaAs und für zwei verschiedene Kontaktmetalle bei gleichen Temperbedingungen. Die obere Kurve gilt für AuGe mit 0,02 Gewichts-% Germanium, der untere Kurvenverlauf entspricht AuGe mit 3 Gewichts-% Germanium. Für legierte Kontakte wird üblicherweise AuGe mit 3 bzw. 12 Gewichts-% Germanium verwendet. Wie der Kurvenverlauf zeigt, steigt das Reflexionsvermögen des getemperten AuGe-Kontakts mit abnehmender Germaniumkonzentration an und erreicht das Reflexionsvermögen von reinem Gold bei Germaniumkonzentrationen von unter 0,1 Gewichts-%.

Fig. 7 zeigt die optische Ausgangsleistung einer Infrarotdiode mit einem erfindungsgemäßen Rückseitenkontakt in Abhängigkeit vom Germaniumgehalt des getemperten Rückseitenkontakts. Die Emissionswellenlänge der Infrarotdiode beträgt ca. 940 nm. Der Rückseitenkontakt besteht aus einer 10 nm dicken AuGe-Schicht mit 0,5 Gewichts-% Ge und einer darüberliegenden 240 nm dicken Au-Schicht. Die höchste Strahlungsleistung wird bei einer Ge-Konzentration von 0,1 Gewichts-%, bei einer Tempertemperatur von 360°C und einer Tempezeit von 40 Minuten erreicht. Eine etwas höhere Tempertemperatur von ca. 380°C in Verbindung mit einer längeren Tempezeit von 2 Stunden hat eine Erniedrigung der Strahlungsleistung um ca. 6% zur Folge.

Wegen des niedrigen ohmschen Kontaktwiderstands und des hohen Reflexionsvermögens für Strahlung im nahen infraroten und sichtbaren Wellenlängenbereich eignet sich der Kontakt insbesondere als ganzflächiger Rückseitenkontakt für Halbleiterlumineszenzdiode, die infrarotes oder sichtbares Licht emittieren.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von ohmschen Kontakten auf einer N-dotierten Halbleiterschicht (1) eines III-V-Verbindungshalbleiters **gekennzeichnet durch** folgende Verfahrensschritte:  
Abscheidung einer ersten Metallschicht (2) bestehend aus AuGe auf der Halbleiterschicht (1), wobei der Ge-Anteil der ersten Metallschicht (2) 1 Gewichts-% nicht überschreitet,  
Abscheidung einer zweiten Metallschicht (3) bestehend aus Au auf der ersten Metallschicht (2),  
Temperung der Schichtenfolge bei 360–390°C für eine Zeitdauer von 40–180 Minuten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Verfahrensschritt der Temperung ersetzt wird durch einen Kurzzeit-Ausheilprozeß-Schritt bei einer Temperatur von 430–480°C und einer Zeitdauer von 5–20 Sekunden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der über die beiden Metallschichten (2, 3) gemittelte Germaniumanteil 0,02–0,1 Gewichts-% beträgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Metallschicht (2) eine Dicke im Bereich von 5–50 nm und daß die zweite Metallschicht (3) eine Dicke im Bereich von 200–600 nm aufweist.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–4, da-

durch gekennzeichnet, daß die Temperung bzw. der Kurzzeit-Ausheil-Schritt in einer inerten Atmosphäre erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß die Temperung in einer reduzierenden Atmosphäre erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß der III-V-Verbindungshalbleiter GaAs des N-Leitungstyps in 100- oder 111-Orientierung ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die erste Metallschicht (2) 0,5 Gewichtsprozent Germanium enthält und 10 nm dick ist und daß die zweite Metallschicht (3) 240 nm dick ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Schichtenfolge ca. 120 Minuten bei einer Temperatur von ca. 380°C getempert wird.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

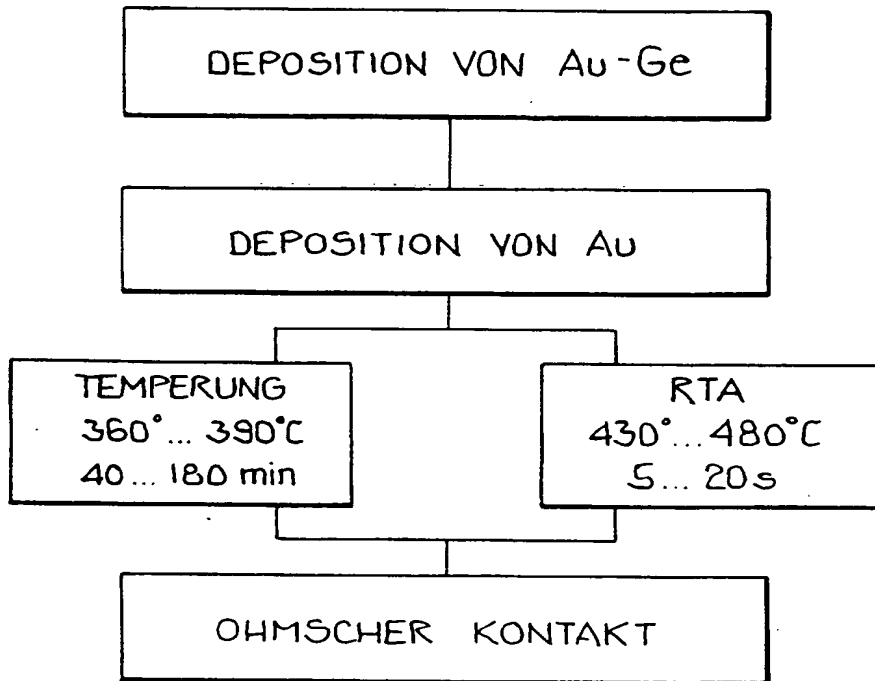


FIG.1

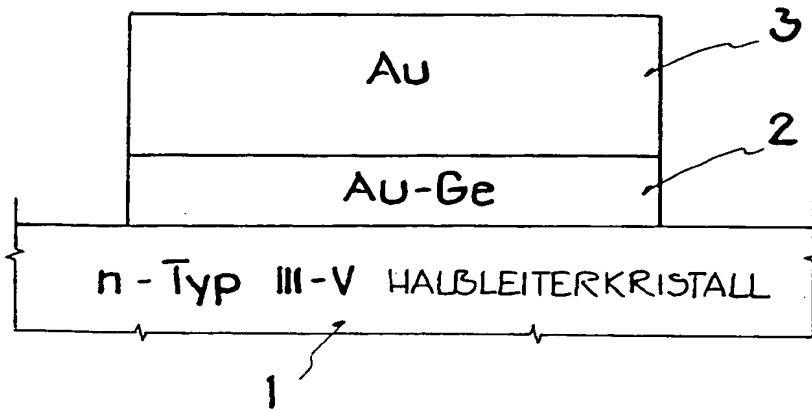


FIG. 2

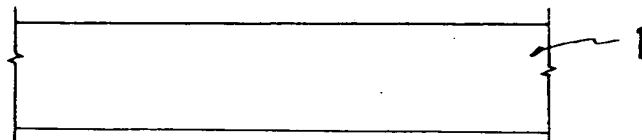


FIG. 3a

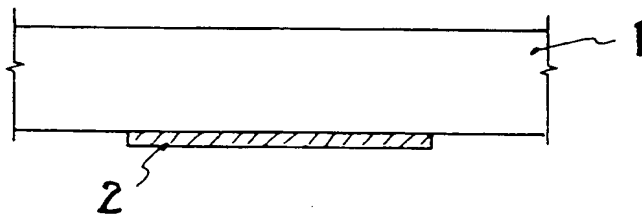


FIG. 3b

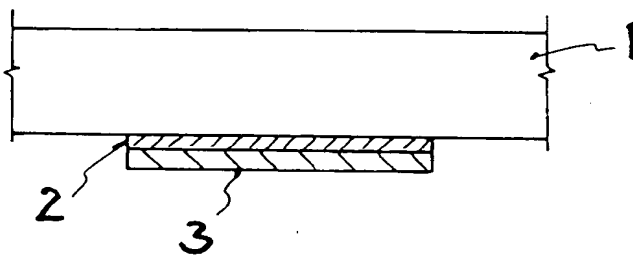


FIG. 3c

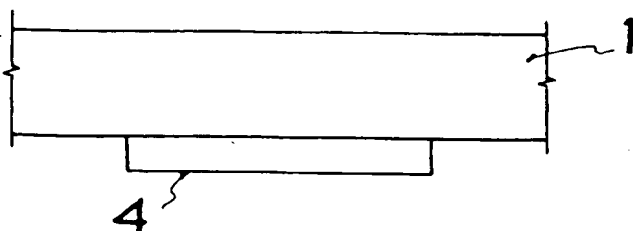
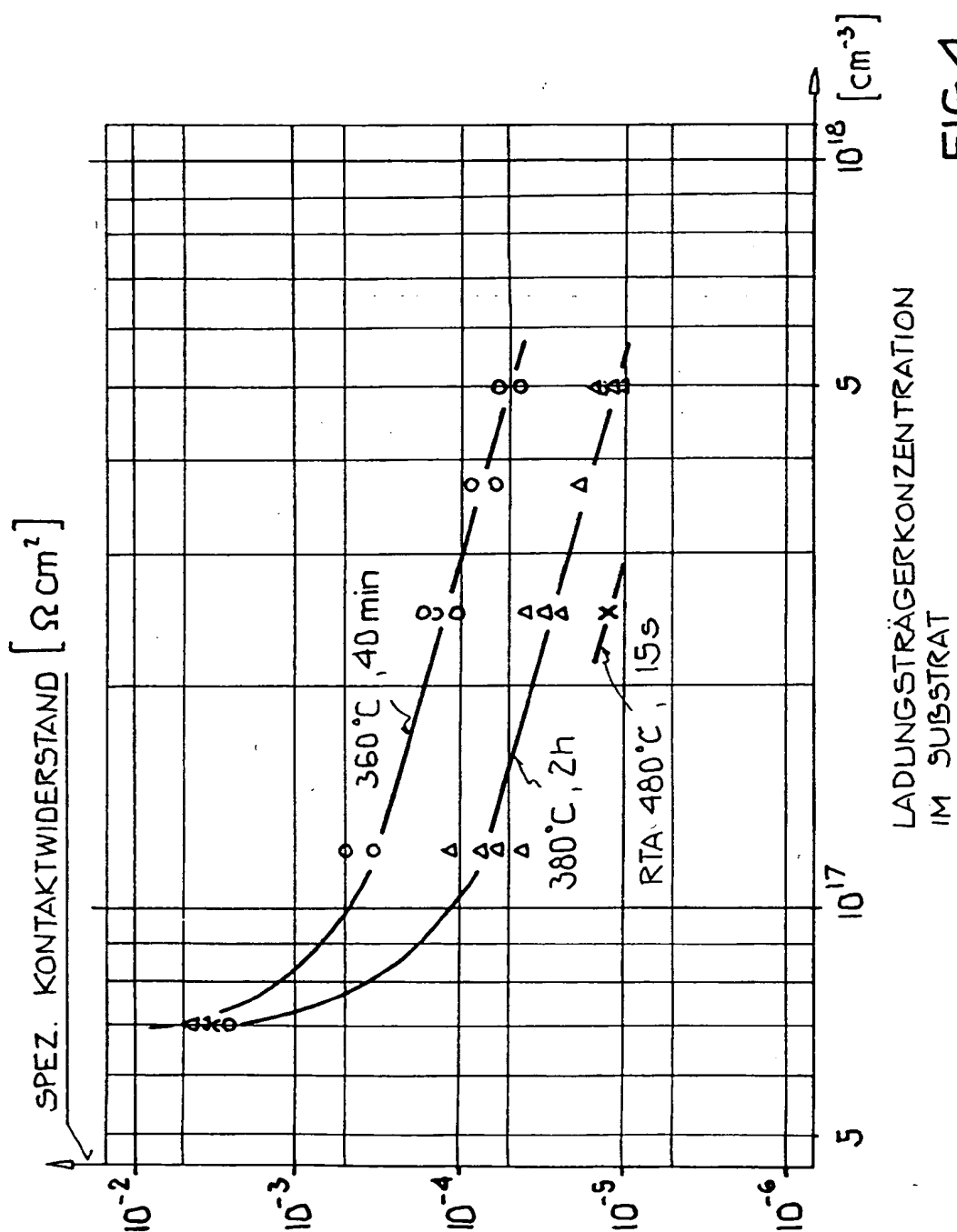


FIG. 3d





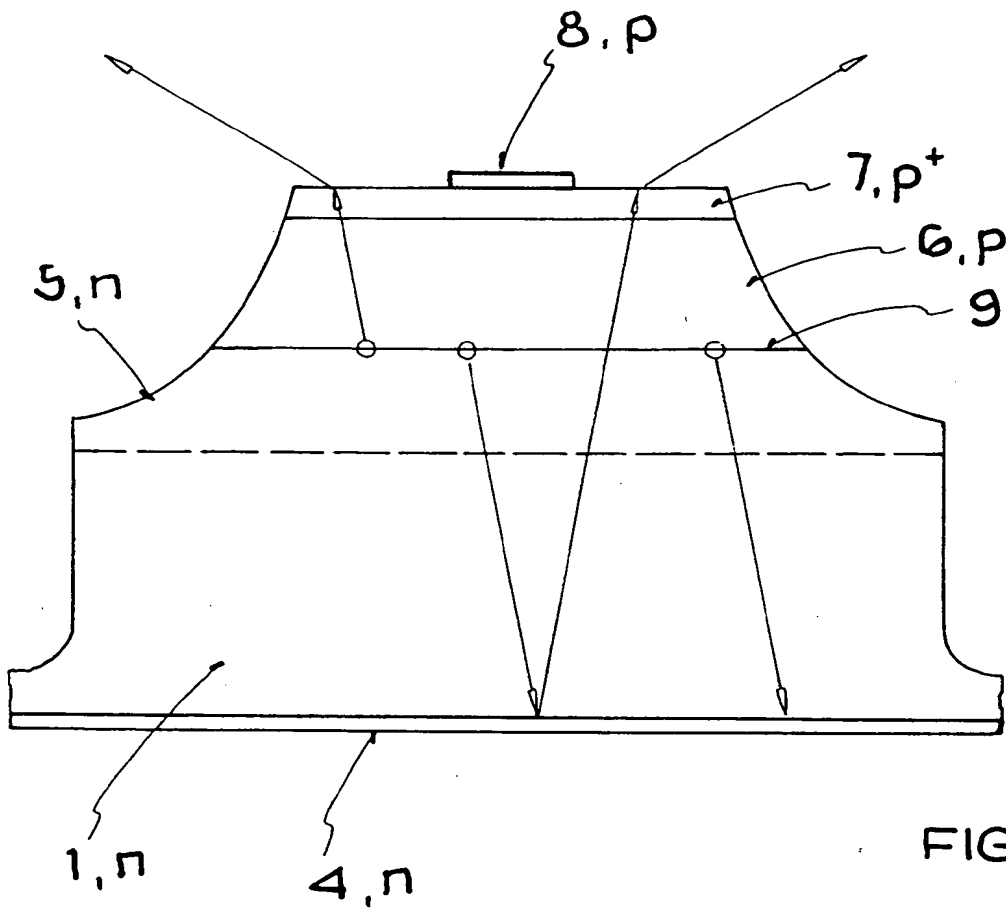


FIG.5

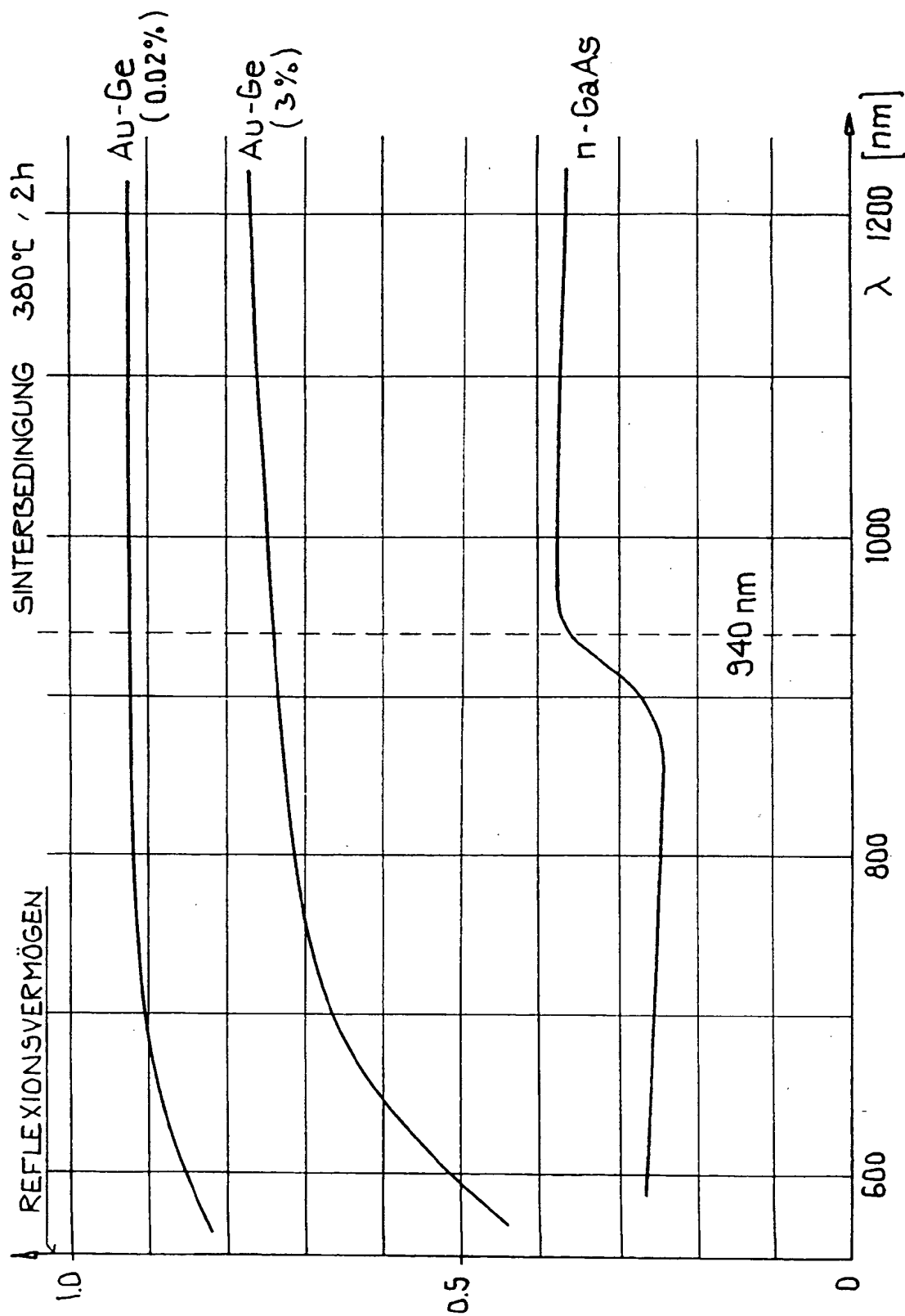


FIG. 6

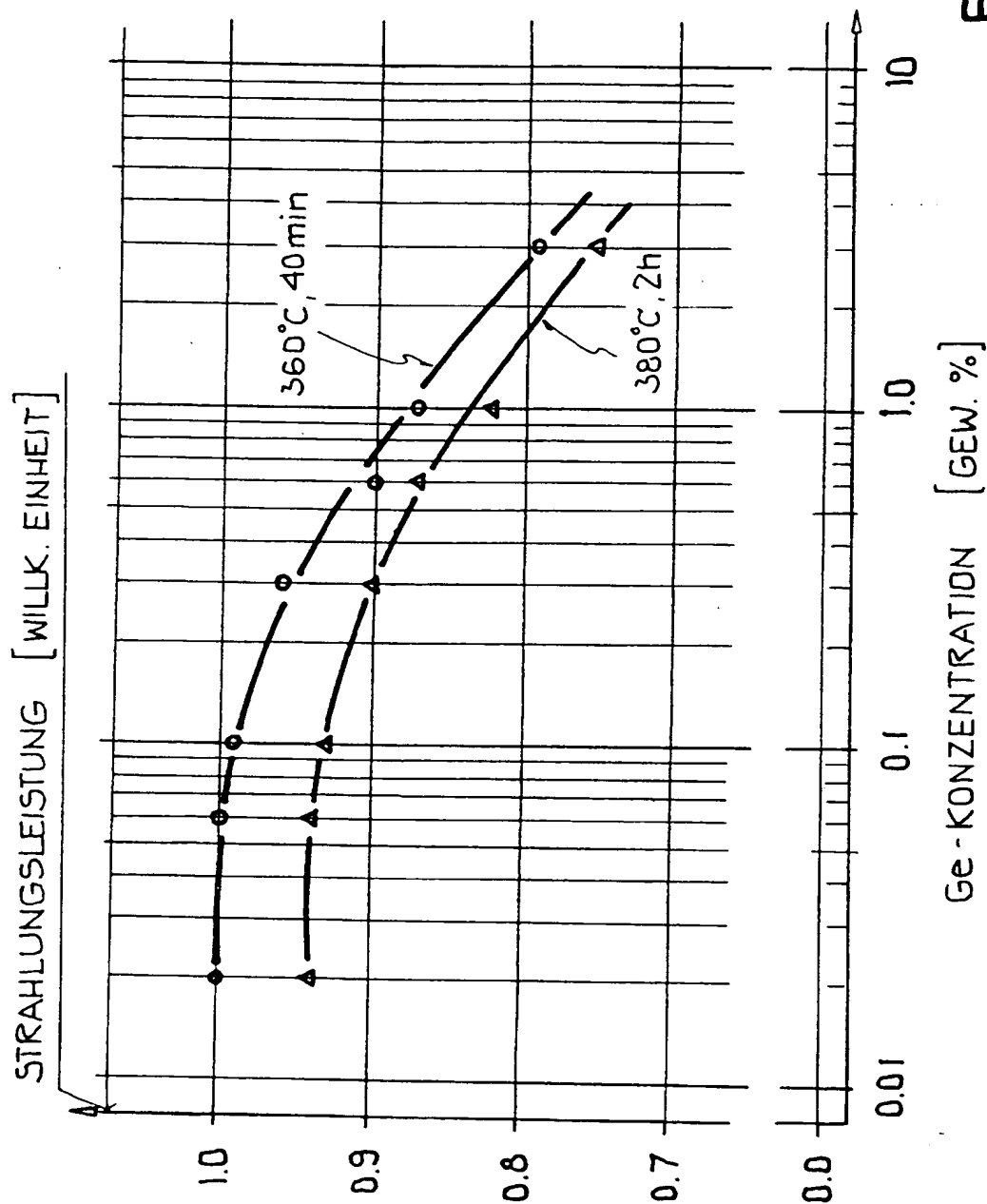


FIG. 7

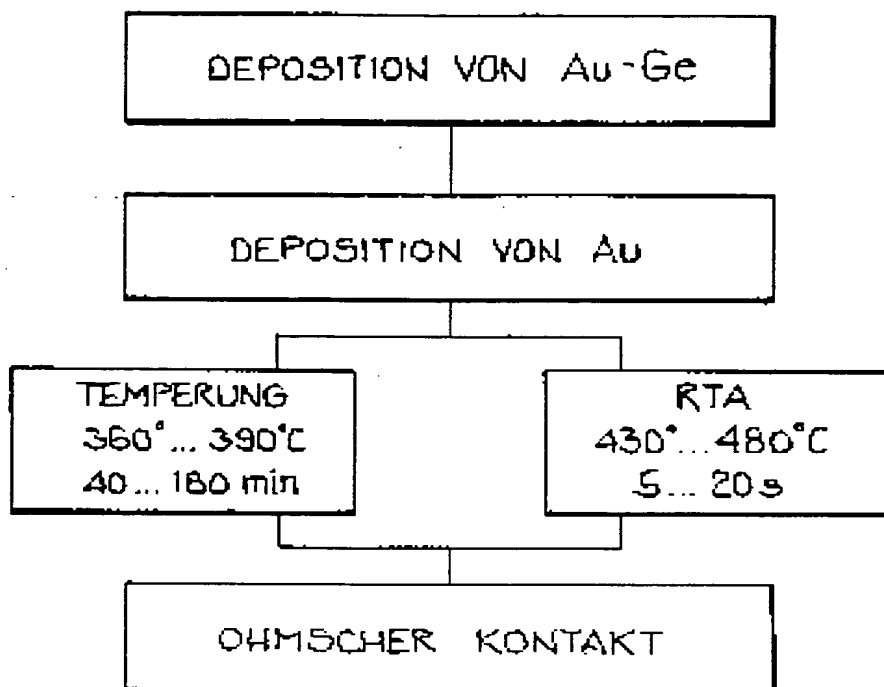


FIG.1

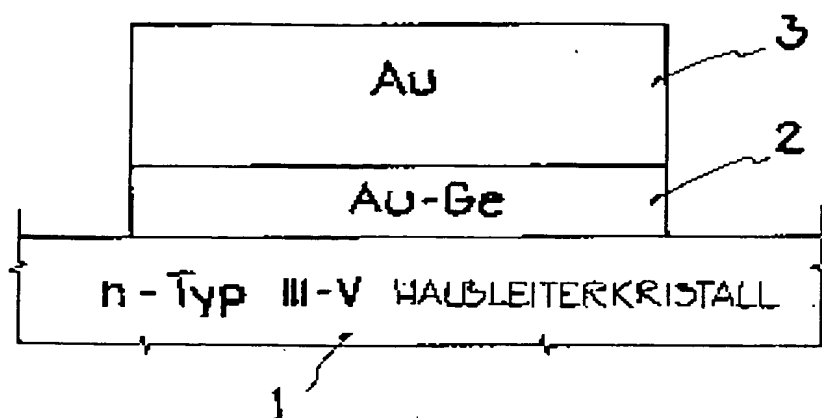


FIG. 2

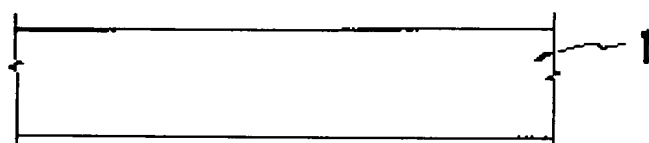


FIG. 3a

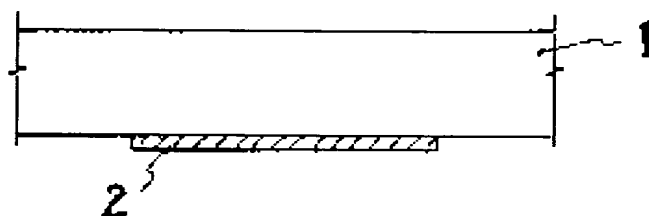


FIG. 3b

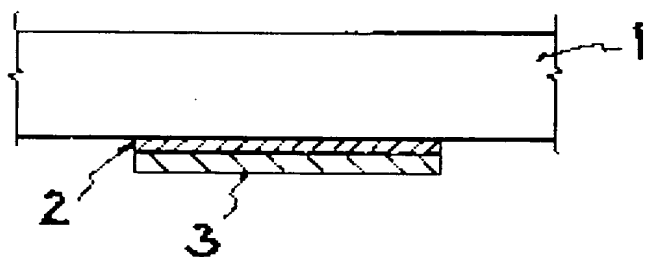


FIG. 3c

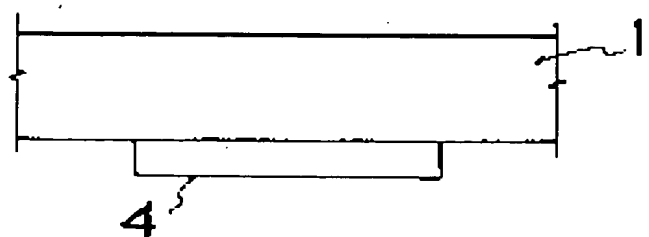
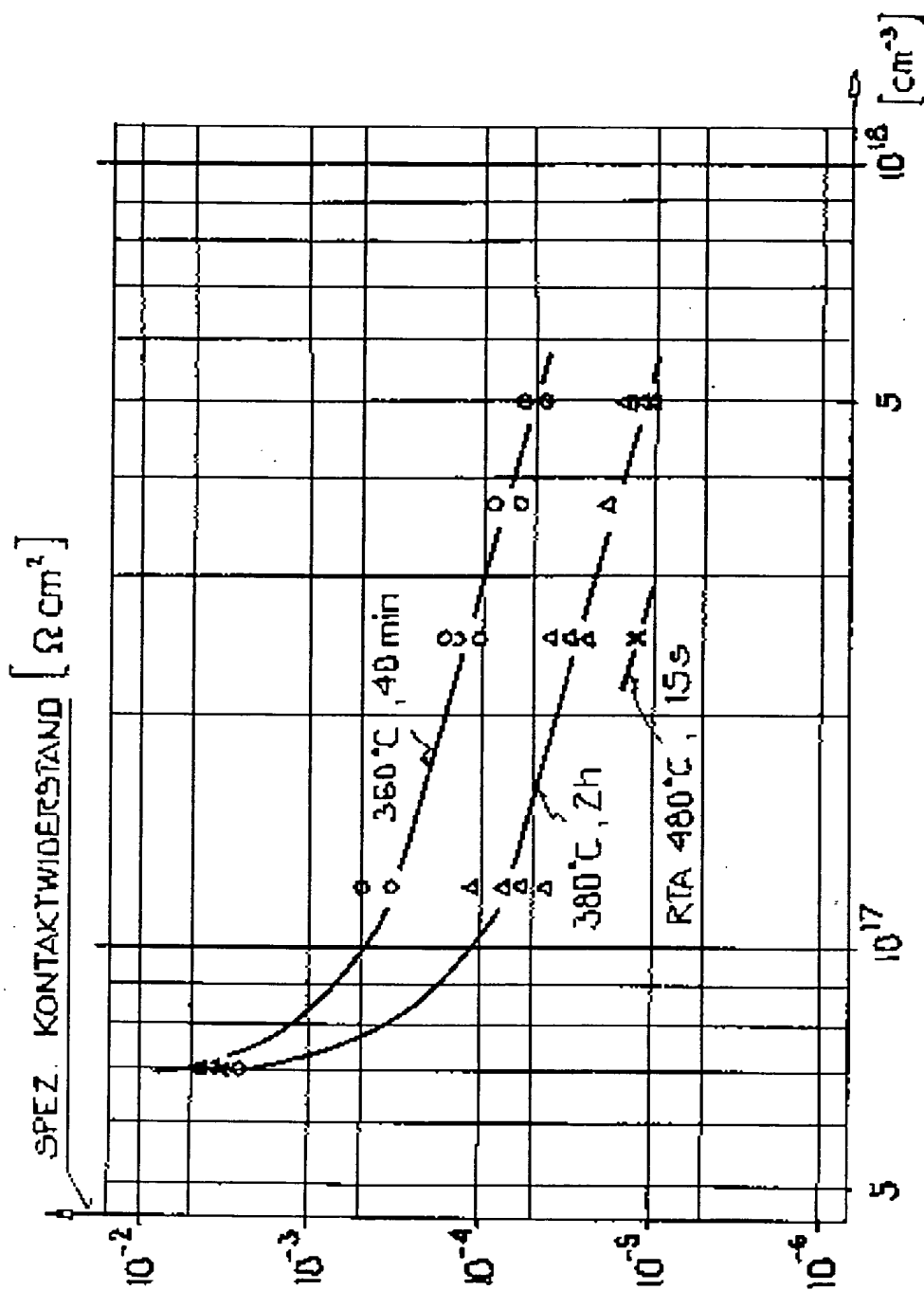


FIG. 3d



LADUNGSTRÄGERKONZENTRATION  
IM SUBSTRAT

FIG. 4

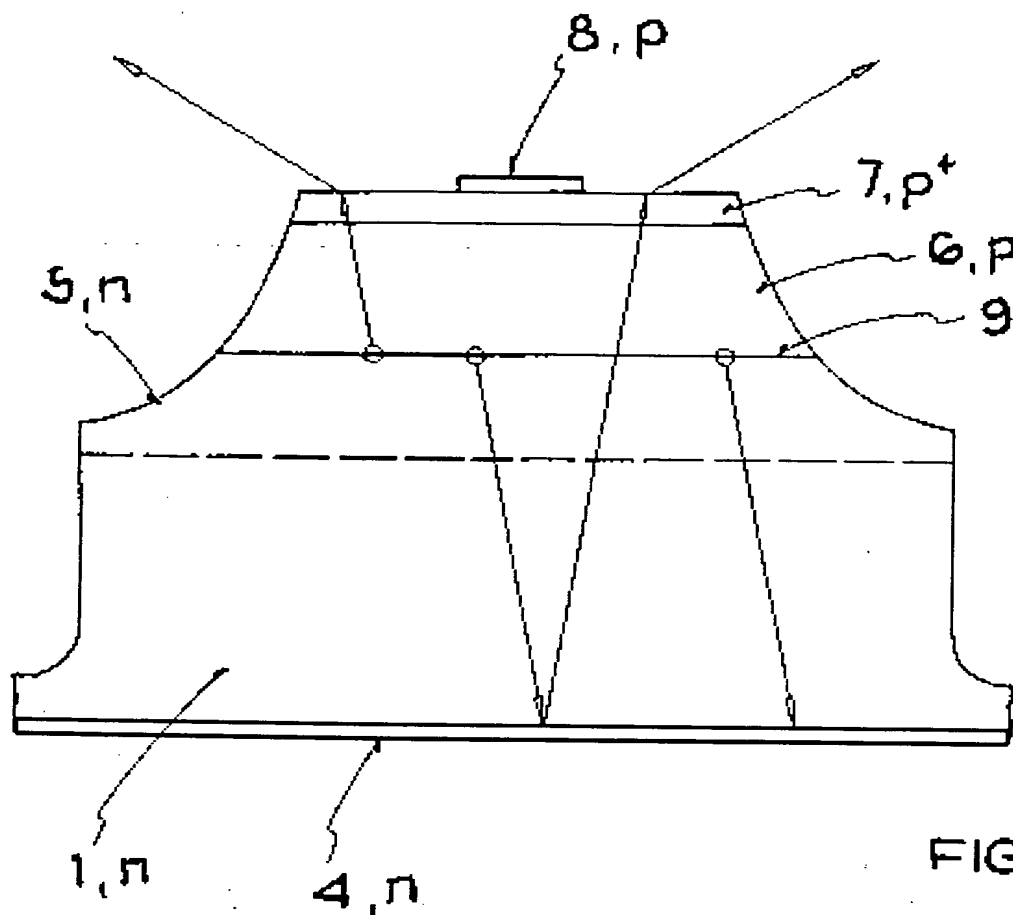


FIG. 5



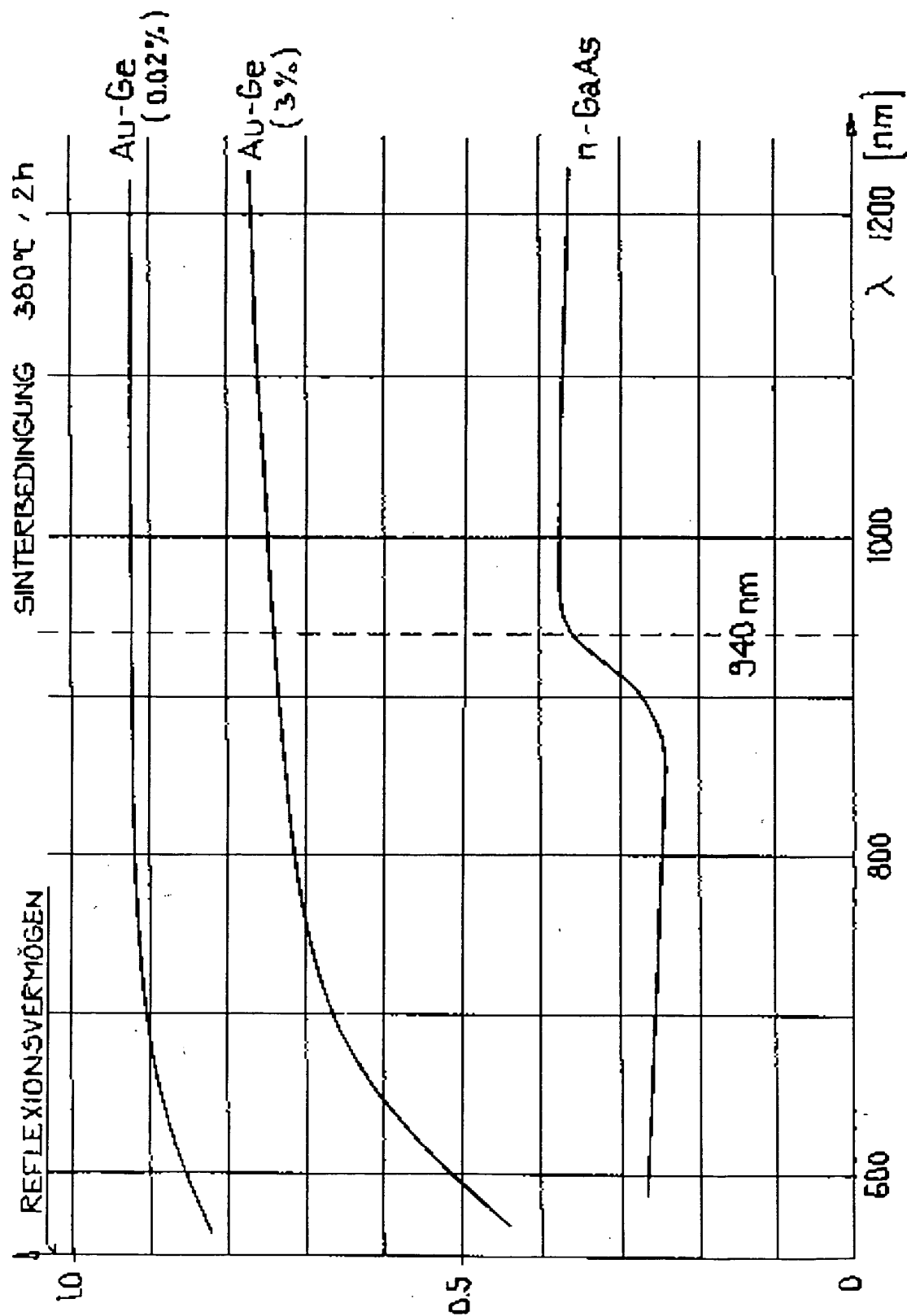
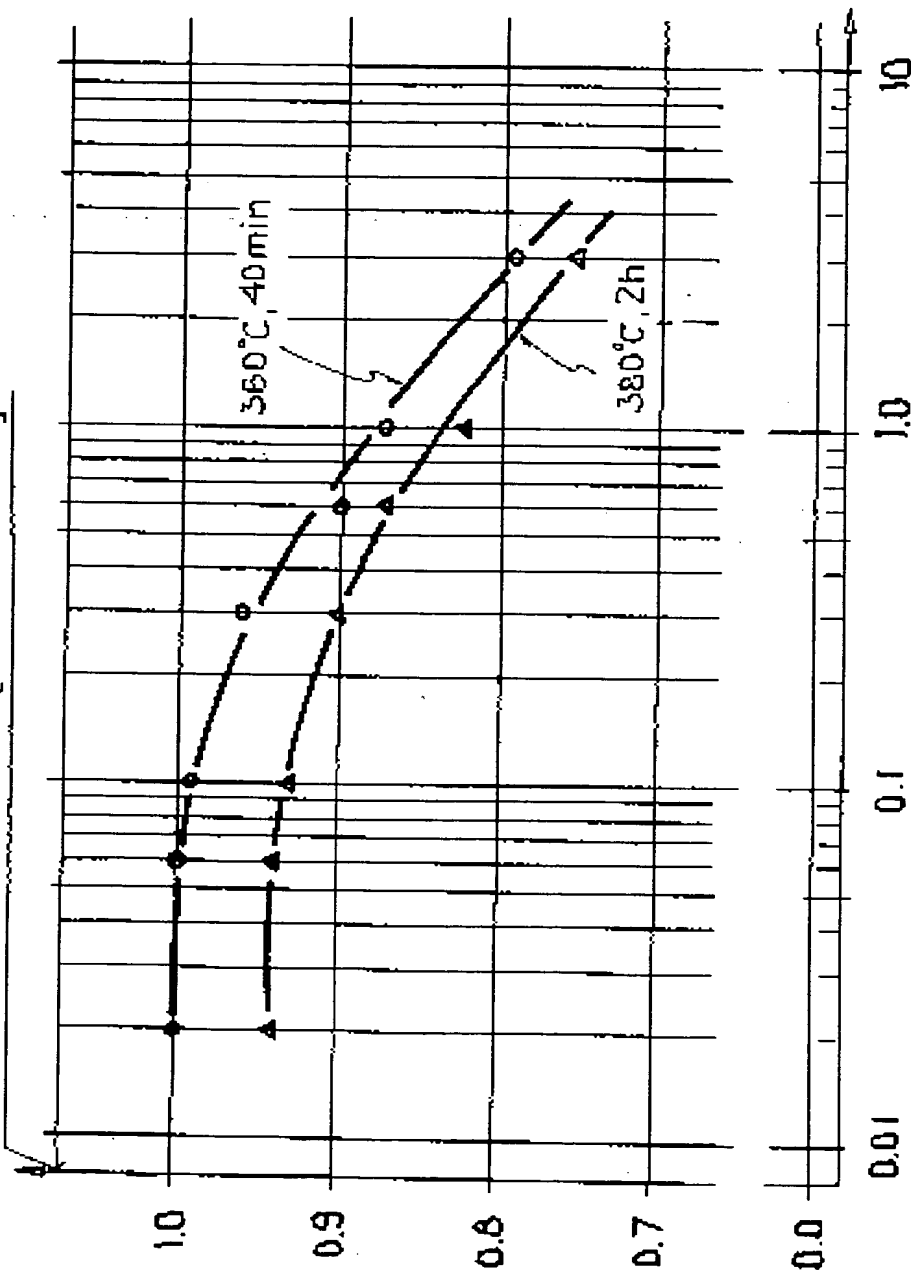


FIG. 6

STRAHLUNGSLEISTUNG [WILLK. EINHEIT]



Ge-Konzentration [Gew. %]

FIG. 7